

6 种市售酶抑制-比色法试剂盒测定 有机磷农药的比较研究

罗俊霞¹, 赵建波^{2*}, 安冕^{2*}, 唐国林³, 辛焕发³, 张刚⁴, 王瑞⁵, 林惠纯⁵, 毛新亚⁴

(1. 郑州市农产品质量检测流通中心, 郑州 450006; 2. 郑州市农业技术推广中心, 郑州 450006;
3. 深圳市安鑫宝科技有限公司, 深圳 518000; 4. 河南恒晟检测技术有限公司, 新郑 451100;
5. 深圳市农产品质量安全检验检测中心, 深圳 518000)

摘要: 目的 探讨 6 种市售农残速测试剂盒对倍硫磷氧乐果等 5 种有机磷类农药的敏感性。**方法** 使用 6 种市售酶抑制-比色法农残速测试剂盒分别在 5 个浓度水平下测定了倍硫磷等 5 种农药的抑制率, 绘制抑制率对农药浓度的折线图, 同时用抑制率和农药浓度的常用对数进行线性拟合, 分别计算出相关系数、半抑制浓度 (half-inhibitory concentration, IC_{50}) 和 IC_{10} , 根据 IC_{10} 比较各种试剂盒对每种农药的敏感性。**结果** 6 种试剂盒对倍硫磷均不敏感, 6 种试剂盒对其他 4 种农药的敏感性也各不相同, 从所测定的 5 种农药来看, D 试剂盒最优。**结论** 建议国家标准和行业标准将判定阳性检出样品的标准降低。

关键词: 试剂盒; 农药残留; 抑制率; 敏感性; 半抑制浓度; 阳性样品

Comparative study on the determination of organo-phosphorus pesticides with 6 kinds of commercially available enzyme inhibition colorimetric kits

LUO Jun-Xia¹, ZHAO Jian-Bo^{2*}, AN Mian^{2*}, TANG Guo-Lin³, XIN Huan-Fa³, ZHANG Gang⁴,
WANG Rui⁵, LIN Hui-Chun⁵, MAO Xin-Ya⁴

(1. Zhengzhou Agricultural Product Quality Testing and Distribution Center, Zhengzhou 450006, China;
2. Zhengzhou Agricultural Technology Extension Centre, Zhengzhou 450006, China; 3. Shenzhen Anxinbao Technology Co., Ltd., Shenzhen 518000; 4. Henan Hengsheng Testing Technology Co., Ltd., Xinzheng 451100, China;
5. Shenzhen Agricultural Product Quality and Safety Inspection and Testing Center, Shenzhen 518000, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the sensitivity of 6 kinds of pesticide residues test kits to 5 kinds of organophosphorus pesticides, such as fenthion. **Methods** Total of 6 commercially available enzyme inhibition colorimetric assay kits were used to determine the inhibition rates of 5 pesticides such as fenthion at 5 concentration levels, a line graph of inhibition rate versus pesticide concentration was drawn, and the common logarithm of inhibition rate and pesticide concentration was used for linear fitting. The correlation coefficient, the half-inhibitory concentration (IC_{50}) and IC_{10} were calculated. According to IC_{10} , the sensitivity of various kits to each pesticide was compared. **Results** The 6 kits were not sensitive to fenthion, and the sensitivity of the 6 kits to other 4 pesticides

基金项目: 郑州市农产品质量检测中心建设项目[豫发改农经(2011)1778号]

Fund: Supported by Construction Project of Zhengzhou Agricultural Product Quality Testing Center [Yu Develops and Reforms Agricultural Economy (2011) 1778]

*通讯作者: 赵建波, 正高级农艺师, 主要研究方向为农业技术推广与研究。E-mail: 13939021082@139.com

安冕, 农艺师, 主要研究方向为农业技术推广与研究。E-mail: 1072773691@qq.com

*Corresponding author: ZHAO Jian-Bo, Senior Agronomist, Zhengzhou Agricultural Technology Extension Centre, No.38, Tongbai Road, Zhongyuan District, Zhengzhou 450006, China. E-mail: 13939021082@139.com

AN Mian, Agronomist, Zhengzhou Agricultural Technology Extension Centre, No.38, Tongbai Road, Zhongyuan District, Zhengzhou 450006, China. E-mail: 1072773691@qq.com

was also different. According to the 5 pesticides determined, D kit was the best. **Conclusion** It is suggested that the national standard and industrial standard should reduce the standard of positive detection samples.

KEY WORDS: test kit; pesticide residue; inhibition rate; sensibility; half-inhibitory concentration; positive samples

1 引言

在食品安全日益受到人们重视的今天,农产品质量安全也广泛受到消费者的关注。据调查,农残超标现象在国内外普遍存在^[1,2]。酶抑制-比色法是目前应用较为广泛的一种非定量非定性的农残速测技术^[3],得到的检测结果表征的是有机磷和氨基甲酸酯两类农药的综合毒性^[2],其检测效果取决于酶的来源和质量^[4],目前在检测中研究较多是来源于动物的胆碱酯酶和来源于植物中的植物酯酶^[5,6]。有研究表明同一种酶对不同的农药敏感性不同^[6-10],不同的酶对同一种农药的敏感性也不一样^[11,12],因此,不同品牌的酶抑制-比色法试剂盒对农药的敏感性亦各不相同。酶对农药敏感性或者灵敏度的相关研究已有不少,但多数研究都局限在常见的几种农药,且商品化的酶抑制-比色法的试剂盒对农药敏感性的研究较少。因此,本研究采用 6 种市售酶抑制-比色法农残速测试剂盒分别在 5 个浓度水平下测定了倍硫磷等 5 种农药的抑制率,探讨每一种试剂盒在实际工作中对不同农药的检测效果,以期能为市售的酶抑制-比色法农残速测试剂盒在实际检测工作中的应用提供参考依据。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

2.1.1 实验仪器

CL-BIII 型 16 通道农残速测定仪(上海博纳新技术研究所、上海复博农业科技有限公司); SHA-C 型双重恒温水浴振荡器(杰瑞尔电器有限公司); HH.W21-Cr420 型电热恒温水浴锅(北京三二八科学仪器有限公司); WH-861 型漩涡混合器(上海康华仪器仪表厂)。

2.1.2 材料与试剂

试剂盒: A、F 品牌(深圳)、C 品牌(东莞)、B 品牌(广州)、E 品牌(武汉)、D 品牌(厦门); 倍硫磷、氧乐果、水胺硫磷、地虫磷、杀扑磷农药标准品(浓度为 1000 mg/L, 农业环境保护检测所), 稀释至 80 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 储备。

2.1.3 试剂配制

各品牌农残速测试剂盒含缓冲盐、酶、显色剂和底物 4 种试剂,使用前缓冲盐用 500 mL 的蒸馏水溶解,酶、显色剂和底物分别按照试剂盒说明书要求进行配制,见表 1。

2.2 实验方法

2.2.1 实验设计

试剂盒、农药、样品提取体积为实验三因素。试剂盒为表 1 中的 6 个品牌; 农药为倍硫磷、氧乐果、水胺硫磷、地虫磷、杀扑磷 5 种农药,每种农药设 5 个浓度(按照样品称样 2 g, 模拟加标后样品的实际浓度为 0.05、0.5、1、2、3 mg/kg), 每个浓度水平 3 次重复; 样品提取液的取用量: 针对每种农药的每个浓度设取用 3 mL 和 2.5 mL 2 个处理。

2.2.2 对照液和农药的测试

参照国家标准 GB/T 5009.1999-2003^[13]进行。对照液: 取 3 mL 和 2.5 mL 缓冲溶液,按照要求依次往其中加入 2.1.3 中配制好的酶、显色剂,旋涡混匀,在双重恒温水浴振荡器中振荡提取 10 min 后放 37 $^{\circ}\text{C}$ 下水浴 10 min,之后加入底物,振摇后转移至比色皿中立即放入 CL-BIII 型 16 通道的农残速测定仪的比色池第一通道; 农药: 2.2.1 中模拟制作的农药样品(5 个浓度水平各 3 次重复)前述步骤进行,依次放至速测定仪后面通道进行测定,记录抑制率。

2.2.3 实验数据的处理

(1) 线性拟合

对各品牌试剂盒测定各种农药的 3 次测定结果进行加权平均,选取抑制率在 0~100%间的浓度值,以抑制率(Y)和农药浓度常用对数(X)进行线性拟合,得到抑制率方程,求出相关系数及每一种农药对各种试剂盒的半抑制浓度 IC_{50} 。 IC_{50} 的计算根据抑制率方程的 $Y=50\%$ 对应的 X 轴的值,由此计算出相对应的浓度; 线性范围是在抑制率为 0 时的最大的浓度值到测定的第一个最大的抑制率对应的浓度值之间。根据不同浓度的农药抑制率的平均值(3 次平行)绘制抑制率对浓度的折线图,通过折线图直观比较每一种试剂盒中酶对各种农药的敏感性。

表 1 几个品牌酶抑制法速测试剂盒中各种试剂配制方法表

Table 1 Table of methods for the preparation of various reagents in several brand enzyme inhibitor test kits

试剂盒品牌	酶的来源	酶的状态	酶		显色剂		底物	
			配制	检测用量/ μL	配制	检测用量/ μL	配制	检测用量/ μL
A	电鳗	冻干粉	3.1 mL 缓冲溶液	100	3.1 mL 缓冲溶液	100	3.1 mL 纯净水	100
B	未知	冻干粉	10 mL 缓冲溶液	20	10 mL 缓冲溶液	100	10 mL 纯净水	20
C	鱼肉	冻干粉	10 mL 缓冲溶液	100	10 mL 缓冲溶液	100	10 mL 纯净水	100
D	动物	液体	无	100	26 mL 缓冲溶液	100	2.7 mL 纯净水	100
E	鸭血	冻干粉	3.1 mL 缓冲溶液	100	3.1 mL 缓冲溶液	100	3.1 mL 纯净水	100
F	电鳗	冻干粉	3.1 mL 缓冲溶液	100	3.1 mL 缓冲溶液	100	3.1 mL 纯净水	100

(2) 提取体积的影响

通过 2.2.3 (1)的结果比较样品提取体积为 3 mL 和 2.5 mL 时对测定结果的影响。

(3) 不同试剂盒间灵敏度比较

本研究设定抑制率为 10%时为各种农药的最低检测限,根据抑制率方程计算出当抑制率为 10%时各种农药相对应的浓度,设定为检测限,记为 IC_{10} 。根据 IC_{10} 比较不同的试剂盒对同一种农药的敏感性。

(4) 同种试剂盒间灵敏度比较

通过 2.2.3 (1)的结果比较同一种试剂盒对 5 种不同有机磷农药的敏感性。

3 结果与分析

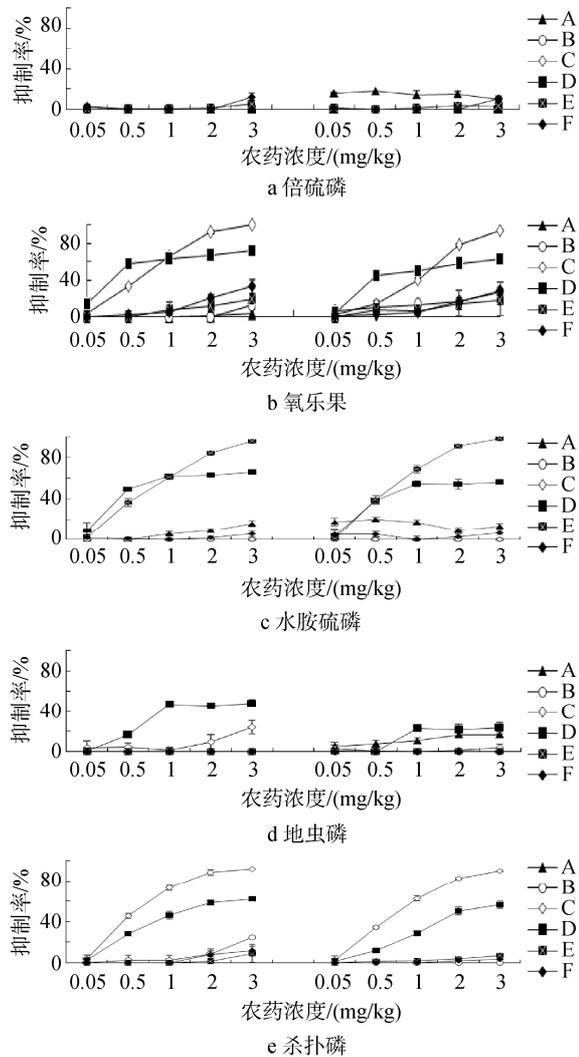
3.1 敏感性分析

从图 1 的折线图比较各品牌试剂盒对 5 种有机磷农药的敏感性。

由图 1 知,倍硫磷: 6 种试剂盒中的酶对倍硫磷均不敏感。倍硫磷对 A、E、F 中的酶稍有抑制,且抑制率和倍硫磷的浓度之间无相关性。氧乐果: C、D 中的酶对氧乐果的敏感性较强,其次是 F 和 E; 最不敏感的是 A; 其中 B 品牌样品提取液取用 2.5 mL 和 3 mL 之间存在较大差异,取用 2.5 mL 时,氧乐果在 5 个浓度水平下抑制率均大于 0,且抑制率随其浓度的增加而提高,而取用 3 mL 时仅在其浓度为 3 mg/kg 时抑制率大于 0。水胺硫磷: D、E 中的酶对水胺硫磷比较敏感; 在不同的浓度水平下, A 和 F 的抑制率各不相同,抑制率和农药浓度之间不存在相关性; B 和 C 对其不敏感,在 5 个浓度水平下抑制率均为 0。地虫磷: 只有 D 对地虫磷的敏感性较好,但在取用 2.5 mL 样品提取液时的敏感性明显低于取用 3 mL 样品提取液时的敏感性。杀扑磷: C、D 对杀扑磷的敏感性较强, B、E、F 次之,但在取用 2.5 mL 样品提取液时的敏感性和取用 3 mL 样品提取液时的敏感性之间存在一定的差异。

D 品牌试剂盒在测氧乐果、水胺硫磷、地虫磷时折线图有明显的拐点出现,当农药浓度在 0.5 或 1 mg/kg 之前抑制率增长幅度较大,在 0.5 mg/kg 或 1 mg/kg 之后,抑制率增长幅度较小。如: 氧乐果,当其浓度在 0.05~0.5 mg/kg 之间,取用 3 mL 的样品提取液和取用 2.5 mL 的样品提取液时抑制率分别为 14.5%~57.8%、3.2%~45.1%,抑制率的增幅分别为 43.3%、41.9%; 在 0.5~3 mg/kg 之间,其抑制率分别为 57.8%~71.8%、45.1%~62.9%,增幅分别为 14%、17.8%; 水胺硫磷,当其浓度在 0.05~0.5 mg/kg 之间,取用 3 mL 的样品提取液和取用 2.5 mL 的样品提取液时其抑制率分别为 8.7%~49.2%、3.8%~38.1%,抑制率的增幅分别为 40.5%、34.3%; 在 0.5~3 mg/kg 之间,其抑制率分别为 49.2%~65.6%、38.1%~55.9%,增幅分别为 16.4%、17.8%; 地虫磷,当其浓

度在 0.05~1 mg/kg 之间,取用 3 mL 的样品提取液和取用 2.5 mL 的样品提取液时其抑制率分别为 0.6%~46.5%、0.6%~22.4%,抑制率的增幅分别为 45.9%、21.8%; 在 1~3 mg/kg 之间,其抑制率分别为 45.6%~48.2%、22.4%~23.0%,增幅分别为 2.6%、0.6%。D 试剂盒测此 3 种农药后段浓度抑制率的增幅明显小于前段浓度。从表 1 知, D 品牌的酶呈现液态,其他 5 个品牌中的酶均是冻干粉, D 品牌检测农药的特性跟酶的状态有关系,还是跟农药的性质有关系,有待于进一步研究。



注: 图中左侧为 3 mL 的样品提取液, 右侧为 2.5 mL 的样品提取液。

图 1 各品牌试剂盒对 5 种有机磷农药的敏感性 ($n=3$)

Fig.1 Sensitivity of each brand kit to 5 organophosphorus pesticides ($n=3$)

3.2 6 种试剂盒测定结果

3.2.1 线性拟合结果

5 种农药的抑制率和农药浓度常用对数之间相关性 & 检出限、敏感性的分析和比较见表 2。

表 2 6 种试剂盒对 5 种农药的抑制率方程及最低检测限对照表
Table 2 Comparison table of inhibition rate equation and minimum test limit for 5 pesticides in 6 kinds of reagent boxes

农药	试剂盒		3 mL 的提取液					2.5 mL 的提取液				
	品牌	抑制率方程	线性范围/ (mg/kg)	r^2	$IC_{50}/$ (mg/kg)	$IC_{10}/$ (mg/kg)	抑制率方程	线性范围/ (mg/kg)	r^2	$IC_{50}/$ (mg/kg)	$IC_{10}/$ (mg/kg)	
倍 硫 磷	A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	B	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	C	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	D	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	E	$Y=2.0073X+1.9108$	0.05~3.0	0.4809	9.057×10^{23}	1.2280×10^8	$Y=0.9085X+1.7897$	0.05~3.0	0.2801	1.164×10^{53}	1.0894×10^9	
	F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
氧 化 乐 果	A	$Y=6.9837X-0.378$	1.0~3.0	0.7792	1.6357×10^7	82.3379	*	*	*	*	*	
	B	$Y=69.847X-21.024$	2.0~3.0	1	10.3968	2.781	$Y=9.5551X+16.174$	0.05~3.0	0.6834	3.468×10^3	0.2259	
	C	$Y=55.285X+67.91$	0.05~3.0	0.9261	0.4742	0.0897	$Y=50.256X+54.061$	0.05~3.0	0.7925	0.8302	0.1328	
	D	$Y=32.071X+59.905$	0.05~3.0	0.9542	0.4911	0.0278	$Y=33.381X+49.241$	0.05~3.0	0.9774	1.0537	0.0668	
	E	$Y=23.188X+6.7592$	0.5~3.0	0.9541	73.2487	1.3797	$Y=9.2837X+10.89$	0.05~3.0	0.8348	1.6323×10^4	0.8019	
	F	$Y=16.185X+15.167$	0.05~3.0	0.6349	141.9711	0.4795	$Y=12.777X+12.745$	0.05~3.0	0.5579	8.2376×10^2	0.6098	
水 胺 硫 磷	A	$Y=18.472X+5.1967$	0.5~3.0	0.9423	2.6638×10^2	1.8179	—	—	—	—	—	
	B	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	C	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	D	$Y=32.99X+55.036$	0.05~3.0	0.9512	0.7036	0.0432	$Y=30.677X+46.175$	0.05~3.0	0.95	1.3326	0.0662	
	E	$Y=52.284X+64.315$	0.05~3.0	0.9548	0.5324	0.0915	$Y=56.168X+68.655$	0.05~3.0	0.965	0.4655	0.0903	
	F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
地 虫 磷	A	/	/	/	/	/	—	—	—	—	—	
	B	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	D	$Y=28.94X+36.109$	0.05~3.0	0.8701	3.02	0.1253	$Y=14.065X+15.758$	0.05~3.0	0.6735	0.7202×10^2	0.3896	
	E	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	F	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
杀 扑 磷	A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	B	$Y=10.118X+9.3472$	0.05~3.0	0.5019	1.0420×10^4	1.1602	/	/	/	/	/	
	C	$Y=52.122X+69.069$	0.05~3.0	0.9817	0.4306	0.07357	$Y=50.364X+62.679$	0.05~3.0	0.9548	1.7853	0.08995	
	D	$Y=34.622X+45.225$	0.05~3.0	0.9758	1.3737	0.09607	$Y=31.017X+34.791$	0.05~3.0	0.8404	3.0924	0.1587	
	E	$Y=17.183X-0.99$	1.0~3.0	0.7569	9.2790×10^2	4.3611	$Y=3.1664X+3.2618$	0.05~3.0	0.7117	5.7639×10^{14}	1.3428×10^2	
	F	$Y=24.557X+0.164$	1.0~3.0	0.9957	1.0700×10^2	2.5148	$Y=6.8875X-0.0197$	1.0~3.0	0.9992	1.8298×10^7	28.497	

注: “—”表示数据不成线性, “*”表示未进行测试, “/”表示 5 个浓度水平下测试农药抑制率均为 0。

3.2.2 6 种试剂盒测试之间的比较

倍硫磷: 由表 2 可知, 6 个品牌的试剂盒中 A 和 F 检测数据不成线性, B、C、D 对其均不敏感, 在 5 个浓度水平下抑制率均为 0, E 测定该农药的抑制率和其浓度常用对数之间的相关性较低, 在样品提取液取用 3 mL 和 2.5 mL 时二者之间的相关系数分别是 0.4809、0.2801, 检出限为 1.2280×10^8 和 1.0894×10^9 mg/kg, 已经失去检测的意义。

地虫磷: 只有 D 试剂盒对其比较敏感, 且抑制率和其浓度的对数之间呈较好的线性关系, 在取用 3 mL 样品提取液和 2.5 mL 样品提取液的情况下其检出限分别是 0.1253 mg/kg 和 0.3896 mg/kg。

水胺硫磷: D 和 E 试剂盒对该农药比较敏感, 抑制率和其浓度的对数之间呈较好的线性关系, 样品提取液在取用 3 mL 和 2.5 mL 时二者之间的相关系数分别是 0.9512、0.9548 和 0.95、0.965, 检出限分别是 0.432、0.0915 mg/kg 和 0.0662、0.0903 mg/kg; A 试剂盒对该农药有一定的敏感性, 其检出限达到 1.8179 mg/kg, 在取用 3 mL 样品提取液时抑制率和其浓度常用对数之间的相关系数为 0.9423。

氧乐果: 测定该农药时, 6 个品牌试剂盒的抑制率和其浓度的常用对数之间均存在较好的线性关系, 其相关系数在 0.5579~1 之间, 但是 B 试剂盒的线性范围较窄, 在 2.0~3.0 mg/kg, 其检出限也比较高, 为 2.781 mg/kg; A 试剂盒对该农药不敏感, 其检出限达到 82.3379 mg/kg。

杀扑磷: C、D 试剂盒对其比较敏感, 检出限在 1×10^{-2} mg/kg 的水平, B、E、F 对其敏感性较低, 检出限在 1×10^1 mg/kg 的水平; 同时 E、F 试剂盒测定该农药的检出限在样品提取液取用 3 mL 和 2.5 mL 时有 1~2 个数量级的差异。

3.2.3 每一种试剂盒对不同农药的敏感性比较

A 试剂盒: A 对氧乐果和水胺硫磷有响应, 其检出限达到 82.3379 和 1.8179 mg/kg; B 试剂盒: 对氧乐果和杀扑磷有响应, 在样品提取液取用 3 mL 和 2.5 mL 时, 氧乐果检出限为 2.781 mg/kg 和 0.2259 mg/kg; 杀扑磷的检出限为 1.1602 mg/kg (取用 3 mL 样品提取液); C 试剂盒: 对氧乐果和杀扑磷的敏感性较强, 其检出限在 1×10^{-1} mg/kg 以下; D 试剂盒: 对氧乐果、水胺硫磷、地虫磷、杀扑磷均比较敏感; E 试剂盒: 对水胺硫磷较为敏感; F 试剂盒: 对氧乐果的敏感性比杀扑磷强。

4 结论与讨论

就所测定的农药来看, D 试剂盒最优;但是每一种试剂盒都不是对所有的农药都敏感。国家标准和行业标准中判定阳性样品的标准分别是抑制率 $\geq 50\%$ 或者 $\geq 70\%$ ^[13,14],从最常见的氧乐果来看,抑制率达到 50%时氧乐果浓度接近于 0.5 mg/kg,这明显高于国家限量标准对蔬菜水果中氧乐果的限量(0.02 mg/kg)^[15],建议修改国家标准和行业标准中阳性样品的判定标准,避免太多假阴性样品的发生,更好地发挥农残速测试剂盒在农产品质量监管中的作用。

参考文献

- [1] 罗俊霞,李莺,袁小伟,等.郑州市蔬菜农药残留污染现状与预防控制对策[J].中国瓜菜,2008,(5):55-57.
Luo JX, Li L, Yuan XW, *et al.* Present situation of pesticide residue pollution in vegetables in Zhengzhou city and its prevention and control countermeasures [J]. *China Cucur Veget*, 2008, (5): 55-57.
- [2] Lozowicka B, Abzeitova E, Sagitov A, *et al.* Studies of pesticide residues in tomatoes and cucumbers from Kazakhstan and the associated health risks [J]. *Environ Monit Assess*, 2015, 187(10): 1-19.
- [3] 罗俊霞,赵建波,刘伟,等.农产品质量安全快速检测试剂盒评价方法研究[J].农产品质量与安全,2019,(2):62-66.
Luo JX, Zhao JB, Liu W, *et al.* Evaluation methods of rapid detection kits for agro-product quality and safety [J]. *Qual Saf Agro-prod*, 2019, (2): 62-66.
- [4] 陶珊珊,葛会林,袁宏球,等.测定化学物对乙酰胆碱酯酶抑制毒性的微板吸光法研究[J].生态毒理学报,2018,13(1):201-209.
Tao SS, Ge HL, Yuan HQ, *et al.* Microplate absorbance-based toxicity bioassay by analysis of *in vitro* inhibition of acetylcholinesterase [J]. *Asian J Ecotox*, 2018, 13(1): 201-209.
- [5] 孟祥坤,缪丽君,董帆,等.无脊椎动物乙酰胆碱酯酶研究进展[J].环境昆虫学报,2019,41(3):508-519.
Meng XK, Miao LJ, Dong F, *et al.* Advances in the research on invertebrate acetylcholinesterase [J]. *J Environ Entomol*, 2019, 41(3): 508-519.
- [6] 姜露,叶麟,杨雪,等.麦麸酯酶对有机磷氨基甲酸酯类农药敏感性的研究[J].核农学报,2016,30(5):934-940.
Jiang L, Ye L, Yang X, *et al.* Study on the sensitivity of wheat bran esterase to organophosphorus and carbamate pesticides [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2016, 30(5): 934-940.
- [7] 杜美红,孙永军,汪雨,等.酶抑制-比色法在农药残留快速检测中的研究进展[J].食品科学,2010,31(17):462-466.
Du MH, Sun YJ, Wang Y, *et al.* Advances in the application of enzyme inhibition/colorimetric assay to the rapid detection of pesticide residues [J]. *Food Sci*, 2010, 31(17): 462-466.
- [8] 王洁莲.酶抑制法快速检测蔬菜中有机磷和氨基甲酸酯类农药残留[J].山西农业科学,2011,39(2):156-158.
Wang JL. Rapid detection of vegetable enzyme inhibition of organophosphorus and carbamate pesticide residues [J]. *J Shanxi Agric Sci*, 2011, 39(2): 156-158.
- [9] 罗俊霞,李德瑜,袁小伟,等.酶抑制法测定多种有机磷和氨基甲酸酯类农药残留的试验[J].浙江农业科学,2015,56(6):883-887.
Luo JX, Li DY, Yuan XW, *et al.* The test of many organophosphate and carbamate pesticides on enzyme inhibition method [J]. *J Zhejiang Agric Sci*, 2015, 56(6): 883-887.
- [10] 罗俊霞,赵建波,贾冬,等.酶抑制法快速检测有机磷农药残留的比较试验[J].湖北农业科学,2019,58(18):115-120.
Luo JX, Zhao JB, Jia D, *et al.* Comparative test on rapid detection of organophosphorus pesticide residues by enzyme inhibition method [J]. *J Hubei Agric Sci*, 2019, 58(18): 115-120.
- [11] 雷明,张檀,文建雷,等.农药残留检测用植物酯酶的筛选[J].西北植物学报,2008,28(1):183-187.
Lei M, Zhang T, Wen JL, *et al.* Selection of phytoesterases used in detecting the residue of pesticides [J]. *Acta Bot Boreali-Occidentalia Sin*, 2008, 28(1): 183-187.
- [12] 张宁.两种酶快速检测有机磷农药残留条件优化研究[J].江苏农业科学,2006,(1):135-137.
Zhang N. Optimization of two enzymes for rapid detection of organophosphorus pesticide residues [J]. *J Jiangsu Agric Sci*, 2006, (1): 135-137.
- [13] GB/T 5009.1999-2003 蔬菜中有有机磷和氨基甲酸酯类农药残留的快速检测[S].
GB/T 5009.1999-2003 Rapid determination of organophosphorus and carbamate pesticide residues in vegetables [S].
- [14] NY/T 448 蔬菜上有机磷和氨基甲酸酯类农药残毒快速检测方法[S].
NY/T 448 Rapid detection of organophosphorus and carbamate pesticide residues in vegetables [S].
- [15] GB 2763-2016 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量[S].
GB 2763-2016 National food safety standards-Maximum residue limits of pesticides in food [S].

(责任编辑:满朝坤)

作者简介

罗俊霞,高级农艺师,主要研究方向为农产品安全品质的检测与研究。
E-mail: 71819@163.com

赵建波,正高级农艺师,主要研究方向为农业技术推广与研究。
E-mail: 13939021082@139.com

安冕,农艺师,主要研究方向为农业技术推广与研究。
E-mail: 1072773691@qq.com